

《土壤含水量、温度和盐分的田间现场测定 传感器法》

编制说明

一、工作简况：包括任务来源、协作单位、主要工作过程、起草组成员及其所做的主要工作等；

1.1 任务来源

本标准由中国土壤学会提出并归口管理，旨在响应国家耕地质量保护与土壤污染防治政策，填补田间现场快速测定方法的标准空白。

1.2 协作单位

项目采取产学研结合的模式，由三家核心单位协作完成。主要承担单位中国科学院南京土壤研究所（事业单位），作为国内土壤科学研究的权威机构，负责项目的整体协调、技术攻关和文本统筹。主要协作单位南京思摩特传感器有限公司作为仪器研发与生产企业，负责提供与标准方法配套的传感器硬件支持、市场调研及产业化衔接。主要协作单位东南大学（事业单位）依托其在数据分析、数据管理领域的学科优势，为标准方法的科学性和可靠性提供数据分析保障，同时参与标准文本中技术参数的论证与校准工作。

1.3 主要工作过程

《土壤含水量、温度和盐分的田间现场测定 传感器法》标准制定进度安排（12个月）

1.3.1 任务启动与准备阶段（第1个月）

成立标准制定工作组，明确中国科学院南京土壤研究所、南京思摩特传感器有限公司、东南大学的职责分工；收集国内外相关标准（如 LY/T 1213-1999、HJ 802-2016、GB/T 28418-2012、ISO 11465:2025、ISO 11265:2025）及研究成果，完成资料汇编。

1.3.2 文献调研与方法验证阶段（第2-4个月）

系统梳理土壤水分时域反射法（TDR）、频域反射法（FDR）、热电阻温度测定技术及土壤盐分电导率测定法；基于已有专利技术与前期数据，开展补充性田间试验，验证不同土壤类型（如砂土、壤土、黏土）下多参数协同测定的精度与重复性，优化传感器布设方案与误差控制模型。

1.3.3 标准文本起草阶段（第 5-6 个月）

依据 GB/T 1.1-2020 要求撰写标准初稿，内容包括范围、规范性引用文件、术语定义（如土壤体积含水量、土壤盐分、土壤电导率、时域反射法、频域反射法、允许相对误差、允许绝对误差）、测定原理、传感器布置技术要求、现场测定步骤、数据质量控制（含误差指标）等；编制附录 A（土壤盐分分级表）及注意事项。

1.3.4 内部评审与修改阶段（第 7 个月）

组织起草单位内部评审，重点审查技术指标（如水分相对误差≤5%）的合理性、条款的可操作性及文本规范性；根据评审意见修改，形成《征求意见稿》及编制说明。

1.3.5 征求意见与反馈处理阶段（第 8-9 个月）

通过归口单位中国土壤学会广泛征求意见，公示标准文本并收集来自管理部门、科研院所、检测机构、企业及用户的反馈；整理《意见汇总处理表》，对争议条款（如盐分分档误差界限）组织技术论证。

1.3.6 送审稿编制与审查阶段（第 10-12 个月）

结合征求意见和论证结果，修改完善形成《送审稿》；完善参考文献及编制说明；邀请行业权威专家召开技术审查会，汇报标准制定过程、核心技术与验证情况，经审查表决通过后，提交归口单位，完成送审稿备案。

注：各阶段任务可根据实际情况交叉推进，确保 12 个月内完成送审稿提交。

1.4 起草组成员及主要工作

起草组由科研与工程技术人员共同组成，具体分工如下：

表 1. 主要起草人员信息及任务分工

姓名	单位	职称	专业特长及分工
姜军	中国科学院南京土壤研究所	副研究员	土壤化学/项目协调，文本统筹
王亮亮	南京思摩特传感器有限公司	工程师	仪器仪表/市场调研，仪器校准

胡文友	中国科学院南京土壤研究所	副研究员	土壤环境/实验室比对，技术开发
常娥	东南大学	研究馆员	信息管理/数据分析，数据管理
张凤	中国科学院南京土壤研究所	研究助理	土壤环境/数据处理，技术开发
解宪丽	中国科学院南京土壤研究所	副研究员	土壤地理/资料收集，文献综述
王如海	中国科学院南京土壤研究所	正高级工程师	仪器仪表/数据处理，模型建立
洪志能	中国科学院南京土壤研究所	副研究员	土壤环境/实验室比对，技术开发
谢恩泽	中国科学院南京土壤研究所	助理研究员	土壤地理/实验验证，数据采集
徐仁扣	中国科学院南京土壤研究所	研究员	土壤化学/技术审核，质量把控

二、标准编制原则和确定标准主要内容（如技术指标、参数、公式、性能要求、试验方法、检验规则等）的论据；标准修订项目还应当列出新、旧标准水平的对比；

2.1 标准编制原则

本标准在制定过程中严格遵循以下基本原则，确保其规范性、科学性、适用性与协调性：

规范性原则：严格按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的要求起草，确保标准的结构、术语、格式和表述符合国家标准化文件的统一规范。

科学性原则：标准内容以成熟的科学原理（时域反射法/频域反射法、热电阻原理、电导率法）为基础，所有技术指标、参数和方法的确定均来源于系统的实验室研究、多区域田间验证试验及统计学分析，确保方法的准确性与可靠性。

适用性原则：紧密围绕“田间现场”这一核心应用场景，针对野外环境的复杂性，

规定了具体的传感器布置（如间距控制、探针插入方式）、抗干扰措施及数据质量控制流程，确保方法对各类土壤和基层技术人员均具有高度的可操作性。

协调性原则：积极引用和衔接现行有效的国家标准和行业标准（如 LY/T 1213-1999、HJ 802-2016、GB/T 28418-2012），在原理上保持一致，在应用场景上形成互补，避免与现有标准体系冲突。

2.2 确定标准主要内容的论据

2.2.1 技术指标与参数

测量范围：土壤含水量（0–100%）基于时域反射法（TDR）或频域反射法（FDR）的物理原理，电磁信号在土壤中的传播特性或电学响应参数与土壤介电常数直接相关，而介电常数与水分含量呈固有关系。该范围覆盖了土壤从完全干燥到饱和的全部可能状态，确保了标准的普适性。土壤温度（-30–60 °C）参考热电阻传感器的元件特性及我国全域农业气候条件，该范围能够适应从北方寒地到南方热带地区的全年极端土壤温度，满足实际监测需求。土壤盐分（0–50 dS m⁻¹）基于 HJ 802-2016 电极法原理，并结合我国主要盐渍土类型的含盐量分布特征设定。该范围覆盖了从非盐化土到重度盐土的典型电导率值，确保了标准的适用性。

允许误差：土壤含水量允许误差根据含水量水平分档评价，当土壤体积含水量≥10%时，允许相对误差不应超过±10%；当土壤体积含水量<10%时，允许绝对误差不应超过 1.0%（体积含水量）。低含水量条件下，土壤介电常数变化幅度较小，传感器输出信号变化有限，采用统一的相对误差评价方式可能导致技术指标要求偏高；分档设置既反映传感器测量性能，又兼顾田间现场复杂土壤条件下的适用性，满足灌溉决策、旱情监测等农业应用需求。土壤温度允许绝对误差≤0.5 °C，依据热电阻传感器的典型性能指标及农业气象监测的精度要求设定，能够满足作物生长模型和土壤过程研究对温度数据的基本需求。土壤盐分允许相对误差分级控制，根据电导率测定原理，在低电导率（低盐分）区间，测量相对误差通常较大；随着电导率（盐分）升高，测量相对稳定性提高。因此，本标准采用分档误差控制（电导率<2、2–8、8–20、20–50 dS m⁻¹时，允许相对误差分别为<20%、15%–10%、10%–5%和<5%），更符合技术规律和盐渍化分级评价的实际需要。同时在术语和定义中补充“允许相对误差”和“允许绝对误差”的定义及计算方法。

2.2.2 试验方法与性能要求

时域反射法（TDR）或频域反射法（FDR）测定含水量：两种方法均基于土壤介电特性，原理科学成熟。标准中整合两种方法，为用户提供了技术选择空间，也体现了与国内外主流技术发展的同步性。

热电阻法测定温度：基于金属或半导体电阻随温度变化的线性特性，技术稳定可靠。标准要求传感器热响应时间 ≤ 30 秒，是基于对田间温度瞬变（如云层遮挡、灌溉）监测需求的实际考量。

电导率仪法测定盐分：基于土壤溶液电导率与可溶盐含量的相关性，方法直接、快速。标准明确了采用两电极或四电极法，并规定了温度补偿至 25℃标准值的要求，确保了数据的一致性和可比性。修改稿进一步明确了土壤盐分与土壤电导率的关系：电导率为现场传感器直接测定的基础指标，含盐量为盐分评价和分级的应用指标；采用电导率换算含盐量时，应先将电导率测定值经温度校正至 25℃，再根据当地土壤类型和区域条件，采用经验证的经验模型或外标法换算，不得直接套用其他区域的换算关系；对于无适用校准关系的情况，应报告经温度校正后的土壤电导率测定值。

2.2.3 传感器布置要求：

传感器分类布设与间距：修改稿按分体式传感器和集成式传感器分别规定了布置原则，分体式传感器的各测量探头应位于相同或对应的目标土层，集成式传感器应保证各测量单元均处于目标土层。温度传感器应避免受到太阳辐射、地表热交换及其他热源影响，以避免热扰动影响温度测量精度。开展多点测量、区域调查或模型构建时，不同测定点之间宜保持适当水平距离（推荐不小于 1 m），以减少空间异质性、局部扰动及相邻测量影响。

探针垂直插入、确保接触：规定传感器探针应垂直插入并确保与土壤充分接触无空隙，是基于电磁场分布均匀性和电学测量稳定性的根本要求。对于探针无法以手力平稳插入的较硬土壤，可使用直径略小于探针的不锈钢或硬质塑料导杆预先打孔，导孔深度应不小于探针插入深度，是为了在减少扰动的条件下实现探针与土壤的良好接触。

方位一致性：建议各传感器探针方向一致（如朝北），是为了降低因地磁场或土壤各向异性可能带来的系统误差。

2.2.4 检验规则与质量控制

校准要求：标准强调了传感器布设前应完成标准物质校准。对于盐分测定，明确要求将测得电导值换算为 25℃标准温度下的电导率，这是消除温度影响、实现数据可比的关键步骤。

数据稳定性确认：规定插入探针后需静置 30 s–2 min，或待读数稳定时记录；读数稳定的判断以仪器说明书规定的稳定条件为准，仪器未规定稳定条件时，连续两次读数间隔 30 s，各指标读数变化不超过相应测量分辨率时，可判定为读数稳定。该量化要求是基于传感器与土壤体系达到平衡（热平衡、电化学平衡）所需时间的实践经验。

2.3 新旧标准水平对比

本项目为首次制定《土壤含水量、温度和盐分的田间现场测定 传感器法》方法标准，无对应的旧标准。因此，本标准填补了我国在土壤关键参数（水、温、盐）田间现场协同快速测定领域的标准空白。

与 LY/T 1213-1999（森林土壤含水量）、NY/T 1121.16-2006（土壤水溶性盐总量）等实验室方法标准相比，本标准实现了从原位直插到现场读数的实时模式，将测定效率从数小时以上提升至几分钟内。与 LY/T 1219-1999（森林土壤温度）等特定场景标准相比，本标准适用于各类土壤，并创新性地提出了多传感器协同布设的防干扰规范，适用性更广。与 GB/T 28418-2012（土壤水分监测仪器）等仪器性能标准相比，本标准不仅规定了仪器要求，更系统整合了三种传感技术的田间协同测定全流程规范，包括原理、布设、操作、质控等，形成了完整、可操作的技术方案。

三、主要试验（或验证）的分析、综述报告，技术经济论证，预期的经济效果；

3.1 主要试验（或验证）的分析与综述报告

3.1.1 试验设计与数据来源

验证工作基于全国典型土壤类型（东北黑土、亚热带水稻土、红壤、黄棕壤等）开展多区域田间试验，覆盖水分含量 0–100%、温度-30–60℃及盐分（电导率）0–50 dS m⁻¹ 的范围。采用“田间现场多参数同步测定”与“实验室标准方法（如 LY/T 1213-1999 烘干法、HJ 802-2016 电极法）”双轨比对模式，使用集成水分、温度及盐分传感器的便携式设备进行现场测定，每组样品设置 3 次平行重

复，确保数据可靠性。数据来源于中国科学院南京土壤研究所 2019–2025 年的系统性田间试验、多区域验证数据。

3.1.2 关键技术指标验证结果

准确度与精密度：在含水量 10%–30% 的田间常见范围内，水分现场测定与实验室烘干法的比对结果显示，相对误差均值为 3.2%（最大值 4.8%），平行测定相对标准偏差（RSD） $\leq 5\%$ ，满足标准规定的分档允许误差要求。热电阻传感器现场测定值与标准温度计（水银温度计）的比对误差范围在 -0.4°C 至 0.3°C 之间，绝对误差 $\leq 0.5^{\circ}\text{C}$ ，完全满足标准要求。根据电导率现场测定值换算的盐分结果，与实验室浸提法（NY/T 1121.16-2006）结果在不同盐分水平下极显著相关（ $P < 0.001$ ）。精密度试验表明，盐分测定相对标准偏差（RSD）随含量升高而降低，在电导率 $> 20 \text{ dS m}^{-1}$ 时 $\text{RSD} \leq 5\%$ ，符合标准分级误差控制指标。

方法可比性：田间现场多参数协同测定结果与各参数对应的实验室标准方法测定结果之间均呈现极显著相关（ $P < 0.001$ ），证实了现场集成方法的准确性与可靠性。

3.2 技术经济论证

3.2.1 技术优势

该方法将单样测定时间从实验室方法的 30 分钟以上（不含样品运输与前处理时间）缩短至 3 分钟以内，效率提升 10 倍以上。通过标准化操作流程和智能化校准，显著降低了因人员操作差异导致的数据偏差，实现了数据的即时性与可比性。

3.2.2 经济性分析

与实验室检测方式相比，该技术的一次性设备投入成本相当，但运行成本更低；同时，可实现土壤信息的实时获取，为精准施肥和土壤改良措施的动态调整提供技术支撑。

3.3 预期的经济、社会与生态效益

本标准方法技术成熟、经济可行，其推广应用将产生降低监测成本、提升农业收益、赋能精准管理、保护土壤环境等多重叠加效益，对保障国家粮食安全与农业绿色发展具有重要价值。

四、标准涉及的相关知识产权说明；

根据《国家标准涉及专利的管理规定（暂行）》及《中国土壤学会团体标准制修订项目管理办法》的要求，现对本标准《土壤含水量、温度和盐分的田间现场测定 传感器法》制定过程中涉及的相关知识产权情况说明如下：

经充分检索与确认，本标准的技术内容主要依据成熟、公开的科学原理（如时域/频域反射法、热电阻原理、土壤盐分电导率测定法）及起草单位长期积累的科研成果与实践经验。在标准制定过程中，未发现或引用其他单位或个人的专利、技术秘密等知识产权。

五、采用国际标准的程度与水平的简要说明，与现行有关法律法规和强制性标准的关系；

5.1 采用国际标准的程度与水平的简要说明

本标准《土壤含水量、温度和盐分的田间现场测定 传感器法》在起草过程中，充分研究并参考了相关的国际标准，包括 ISO 11465:2025（污泥和固体环境基质 干残渣或水含量的测定和干物质质量分数的计算）、ISO 11265:2025（环境固态基质 电导率的测定）、ISO 4974:2023（土壤质量 土壤温度测量指南）等。这些国际标准主要针对单一参数的实验室精确分析，要求样品采集、运输、前处理（如烘干、浸提、蒸发）等复杂步骤，旨在追求理想条件下的最高绝对精度，但耗时冗长，无法满足田间实时、原位、多参数协同监测的需求。

本标准并未直接采用或等效采用任何单一国际标准，而是基于成熟的科学原理（时域/频域反射法、热电阻原理、电化学原理），创新性地将三种原位测定技术进行系统性整合，并配套了多传感器协同布设规范、分级误差控制策略以及针对不同土壤特点的原位率定与温度补偿方法，形成了一套适用于田间复杂环境的综合性快速监测技术体系。在测定效率（从数小时缩短至数分钟）和多参数同步能力方面，本标准具有国际标准所不具备的显著优势。

在测量范围、允许误差等关键指标上，本标准在确保数据能满足我国农业精准管理、盐渍化监测等实际应用需求的前提下，参考了国际标准对仪器性能和数据质量的基本要求，并基于大量国内多区域、多土壤类型的田间验证数据进行了针对性优化和特色设定。例如，水分测量范围（0–100%）和温度范围（-30–60 ℃）

覆盖了我国农田的极端条件；盐分测定采用分档误差控制，特别是提升了高盐分土壤（ $>20 \text{ dS m}^{-1}$ ）的测定精度要求，更贴合我国盐碱土改良的监测需求。

5.2 与现行有关法律法规和强制性标准的关系

本标准严格遵循《中华人民共和国标准化法》、《中华人民共和国农业法》及《中华人民共和国土壤污染防治法》等国家相关法律法规的要求，其制定旨在为耕地质量保护、农业资源高效利用和土壤环境风险管控提供标准化的技术支撑，与法律法规导向完全一致。

本标准与现行强制性国家标准（如 GB 15618-2018《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准》）在技术要求和应用目标上协调互补，不存在冲突。本标准提供的现场快速测定数据可作为风险筛查的辅助手段，当数据接近或超过风险管控标准限值时，需依据相关法规和标准要求，采用实验室标准方法进行确证分析。

本标准规范性引用了 GB/T 28418-2012《土壤水分监测仪器基本技术条件》、HJ 802-2016《土壤 电导率的测定 电极法》、LY/T 1213-1999《森林土壤含水量的测定》及 NY/T 1121.16-2006《土壤检测 第 16 部分：土壤水溶性盐总量的测定》等一系列现行有效的国家标准和行业标准。这种引用明确了本标准核心技术指标和原理方法的溯源，确保了数据基础的科学性和可比性。同时，通过明确规定本标准的“田间现场”、“原位同步”、“快速测定”等核心应用场景，与上述引用的、主要针对“实验室”、“样品分析”、“单参数”、“仪器性能”的标准形成了清晰的分工与互补。它们共同构成了从田间快速筛查到实验室精确确证的、完整的土壤关键理化性质测定标准体系，服务于不同层级的农业监测与管理需求。

六、重大意见分歧的处理经过和依据；

本标准在制定过程中，通过广泛征求意见、试验验证及专家咨询，各方面对标准主要内容（如技术指标、参数、试验方法等）未产生重大分歧意见。

七、其他应予说明的事项

无。